

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/050516

International filing date: 07 February 2005 (07.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 007 634.0

Filing date: 17 February 2004 (17.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 26 April 2005 (26.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



EP05/50516

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 10 2004 007 634.0  
**Anmeldetag:** 17. Februar 2004  
**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft,  
80333 München/DE  
**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der  
Partikelkonzentration in einem Gasstrom  
**IPC:** G 01 N 27/22

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 06. April 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Reinhard Stanschus".

Stanschus

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der Partikelkonzentration in einem Gasstrom.

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung der Partikelkonzentration in einem Gasstrom, insbesondere von Rußpartikeln im Abgasstrom eines Verbrennungsmotors.

10 Die Vorschriften zur Emission von Schadstoffen bei Kraftfahrzeugen werden zunehmend strenger. Maßnahmen zur Reduzierung der Rohemission des Motors durch Optimierung des Brennungsprozesses reichen hierbei oft nicht aus. Besonders Dieselmotoren weisen hohe Emissionen von Rußpartikeln auf. Diese können durch motorseitige Maßnahmen nur auf Kosten eines erhöhten Ausstoßes von Stickstoffoxiden reduziert werden. Es bietet sich daher an, die Partikelemission mit Hilfe einer Abgasnachbehandlung zu reduzieren. Moderne Partikelfiltersysteme erreichen hierbei mit einem Abscheidegrad von über 95 % sehr hohe Effizienz.

15 Auf Grund verschiedener Ursachen kann ein derartiger Rußpartikelfilter fehlerhaft sein oder im Betrieb fehlerhaft werden, so dass er eine erhöhte Rußpartikelmenge passieren lässt. Um eine derartige Fehlfunktion erkennen zu können, ist die Messung der Partikelkonzentration im Gasstrom stromabwärts des Filters erforderlich. Hierzu wird zweckmäßigerweise ein geeigneter Sensor fest in den Abgasstrang eingebaut.

20 Ein Verfahren zur Bestimmung der Rußkonzentration im Abgas, das sich die elektrische Leitfähigkeit von Rußpartikeln zunutze macht, und ein entsprechender Sensor sind zum Beispiel aus der WO 84/003147 A1 bekannt. Die Partikel werden hier auf 25 einem Träger aus nicht leitendem Material abgeschieden, an dessen Oberfläche zwei metallische Elektroden mit definiertem Abstand aufgebracht sind. Zur Messung der Rußbeladung der

Sensoroberfläche wird bei einem Elektrodenabstand von unter 1 mm eine Spannung im Bereich 10V bis 100 V an den Sensor angelegt, und der Strom gemessen, der über die Rußschicht zwischen beiden Elektroden fließt. Nachteilig ist, dass der Sensor 5 eine geringe Empfindlichkeit und hohe Störanfälligkeit bei sehr niedrigen Partikelkonzentrationen aufweist, da zwischen den Elektroden eine durchgängige Rußschicht vorhanden sein muss, damit überhaupt ein Strom fließt. Da die Elektroden dem Abgasstrom und den Rußpartikeln direkt ausgesetzt 10 sind, ist außerdem die Lebensdauer des Sensors wegen Elektrodenerosion begrenzt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und 15 eine Vorrichtung zur Überwachung der Partikelkonzentration in einem Gasstrom vorzuschlagen, die hinsichtlich der genannten Nachteile verbessert sind.

Diese Aufgabe wird hinsichtlich des Verfahrens durch Patentanspruch 1 und hinsichtlich der Vorrichtung durch Patentanspruch 20 7 gelöst. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, dass in einem Gasstrom ein Partikel sammelnder Sensor platziert wird. Der Sensor wird als kapazitives Element in einen elektromagnetischen Resonanzkreis integriert. Der Resonanzkreis wird mit einer Wechselspannung erregt. Durch Partikelbeladung des Sensors werden hierbei die kapazitiven bzw. resistiven Eigenschaften des Sensors beeinflusst. Hierdurch ändert sich zumindest eine charakteristische Kenngröße des Resonanzkreises. Diese Kenngröße wird bei unbeladenem Sensor 30 als Referenzwert bestimmt. Anschließend wird die durch Partikelbeladung bedingte Veränderung der Kenngröße gegenüber dem Referenzwert bestimmt.

Da der Sensor im Gasstrom platziert wird, ist er den vom Gasstrom mitgerissenen Partikeln ausgesetzt, weshalb sich je 35 nach Menge der gesamt im Gasstrom vorhandenen Partikel mehr oder weniger viele an ihm anlagern. Die Menge der angelager-

ten Partikel ist so ein Maß für die gesamt im Gasstrom enthaltenen Partikel, also die Partikelkonzentration.

Der elektromagnetische Resonanzkreis ist beispielsweise ein im wesentlichen aus einer Kapazität und einer Induktivität aufgebauter Reihenschwingkreis. An der Stelle der Kapazität ist der Sensor in den Resonanzkreis integriert. Das Ersatzschaltbild des Sensors ist hierbei eine Parallelschaltung aus einer Kapazität und einem ohmschen Widerstand, wobei sich die Werte von Kapazität und ohmschem Widerstand durch die Menge der am Sensor angelagerten Partikel verändern. Da die Kenngrößen des Resonanzkreises von den Größen der darin enthaltenen Bauelemente abhängen, ändern sich bei Partikelbeladung des Sensors verschiedene Kenngrößen des gesamten Resonanzkreises, wie zum Beispiel dessen Resonanzfrequenz, Güte oder Gesamtimpedanz. Eine derartige Kenngröße dient somit als Maß für die Partikelbeladung des Sensors.

Schon kleinste Partikelablagerungen am Sensor bedingen zuerst kleine Veränderungen der Sensoreigenschaften, also der Werte seines Widerstands oder seiner Kapazität. Durch die Verstärkungswirkung des Resonanzkreises im Resonanzfall bedingen diese jedoch große Veränderungen geeigneter Kenngrößen, z.B. der Resonanzfrequenz oder der Spannungsüberhöhung am Kondensator. Da über diese Kenngrößen die Eigenschaften des Sensors indirekt gemessen werden, ist die Empfindlichkeit des Verfahrens gegenüber einer Widerstandsmessung bei dem bekannten Verfahren signifikant erhöht. Zudem funktioniert das erfundungsgemäße Verfahren auch bei geringsten Sensorbelägen, wenn noch keine „zusammenhängende“ leitfähige Partikel- schicht auf dem Sensor vorhanden ist, da sich auch durch kleinste Partikelmengen bereits die kapazitiven Eigenschaften des Sensors ändern, und auch diese Veränderungen vom Verfahren erfassbar sind.

35

In einer ersten vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird der Resonanzkreis mit Wechselspannung fester Frequenz

und fester Amplitude erregt und die am Sensor abfallende Spannung wird als Kenngröße bestimmt. Über diese indirekte Messung kann wegen der am Kondensator auftretenden Spannungsüberhöhung die Widerstands- bzw. Kapazitätsänderung des Sensors wesentlich genauer bestimmt werden als über eine direkte Messung ohne Resonanzkreis. Die Frequenz der erregenden Spannung braucht hier nur in etwa im Bereich der Resonanzfrequenz des Resonanzkreises liegen.

5 10 In einer zweiten vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens wird die Resonanzfrequenz des Resonanzkreises als Kenngröße bestimmt. Dies kann auf verschiedene Weisen erfolgen, z.B. mit Durchwobbeln des in Frage kommenden Frequenzbereiches, Auffinden des Spannungsmaximums am Sensor und Bestimmung der 15 zum Maximum gehörenden Frequenz.

20 Eine besonders einfache Variante dieser Ausführungsform ergibt sich, wenn die Frequenz der den Resonanzkreis erregenden Wechselspannung auf die jeweilige Resonanzfrequenz des Resonanzkreises abgestimmt bzw. dieser nachgeführt wird. Die Resonanzfrequenz wird als Kenngröße bestimmt, was in diesem Fall besonders einfach ist, da sie der Frequenz der erregenden Spannung entspricht. Frequenzen können im allgemeinen sehr exakt bestimmt werden, wodurch so eine sehr exakte Bestimmung der beladungsabhängigen Sensoreigenschaften auf indirektem Wege möglich ist. Die Abstimmung der Frequenz der erregenden Spannung auf die Resonanzfrequenz des Resonanzkreises ist ebenfalls sehr einfach durchzuführen, da sich im Resonanzfall die am Sensor abfallende Spannung bei leichter Verstimmung 30 der Frequenz nicht ändert.

35 In einem Abgasstrom sind neben Partikeln vielfach weitere Stoffe, etwa Ölrückstände oder hochsiedende Kohlenwasserstoffe, enthalten, die sich am Sensor abscheiden und die Messung stören können. Bei einer bevorzugten Verfahrensvariante wird deshalb der Sensor während der Bestimmung der Kenngröße auf eine unterhalb der Zündtemperatur der Partikel liegende Tem-

peratur erwärmt. Ist die Temperatur genügend hoch, werden so am Sensor anhaftende Verunreinigungen entfernt, ohne jedoch Partikel zu verbrennen und so ebenfalls zu entfernen. Wird der Sensor beispielsweise auf eine Temperatur von ca. 200°C 5 gebracht, kann sich kein Kondensat aus Ölrückständen oder hochsiedenden Kohlenwasserstoffen an ihm anlagern und das Messsignal des Sensors stören. Im heißen Zustand des Sensors passieren derartige Stoffe den Sensor, ohne sich an ihm niederszuschlagen. Die am Sensor angelagerten Partikel bleiben 10 jedoch erhalten und deren Konzentration kann weiterhin bestimmt werden.

Wird der Sensor vor einer Bestimmung der Kenngröße auf eine 15 über der Zündtemperatur der Partikel liegende Temperatur erwärmt, ergibt sich eine weitere bevorzugte Variante des Verfahrens. Die Zündtemperatur der Rußpartikel im Abgas von Dieselmotoren liegt beispielsweise bei etwa 550°C. Die am Sensor anlagernden Partikel verbrennen bei dieser Temperatur und die gesamte Partikelbeladung des Sensors wird somit entfernt.

20 Nach dem Aufheizen des Sensors ist dieser also wieder frei von Partikeln. Somit liefert eine unmittelbar nachfolgende Bestimmung der Kenngröße wieder einen Referenzwert für den unbeladenen Sensor. Da der Referenzwert durch diese Verfahrensvariante jederzeit neu bestimmt werden kann, ist ein Ausgleich von Fertigungstoleranzen des Sensors oder der Veränderungen seiner elektrischen Eigenschaften über die Zeit hinweg möglich.

Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst einen im Abgasstrom platzierten Sensor. Dieser ist derart ausgebildet, dass er Partikel aus dem an ihm vorbeiströmenden Gasstrom an sich ansammelt. Er ist als kapazitives Element in einen mit Wechselspannung erregten elektromagnetischen Resonanzkreis integriert. Der Sensor weist 30 einen nicht leitenden Grundkörper und zwei beabstandet zueinander an ihm angebrachte Elektroden auf. Durch die voneinander isolierten Elektroden bildet sich zwischen diesen eine 35

Kapazität aus, weshalb der Sensor kapazitive Eigenschaften aufweist. Bei Beaufschlagung mit Wechselspannung fließt also Wechselstrom durch den Sensor. Bei Partikelbeladung des Sensors, also Ansammlung von elektrisch leitenden Partikeln auf

5 dem nicht leitenden Körper im elektrischen Feldbereich der Elektroden, ändern sich die elektrischen Wechselspannungseigenschaften des Sensors. Bei Beaufschlagung des Sensors mit Wechselspannung werden z.B. in den Partikeln elektrische Verluste erzeugt, was sich in einem Ansteigen des Verlustwinkels

10 der Sensorkapazität mit zunehmender Partikelbeladung bemerkbar macht. Im Ersatzschaltbild des Sensor aus einer Kapazität mit parallel geschaltetem Widerstand führt dies dazu, dass der Wert des ohmschen Widerstands sinkt.

15 Aufgrund der Wechselspannungsbeaufschlagung ist hierzu kein durchgehender Gleichstrompfad zwischen den Elektroden notwendig, was einer durchgehenden Rußschicht entspräche. Die Partikel bzw. Partikelschicht braucht auch nicht mit den Elektroden in elektrischem Kontakt zu stehen. Bereits geringe Mengen abgeschiedener Partikel, die keine geschlossene leitfähige Schicht bilden, führen somit zu einer Veränderung der elektrischen Eigenschaften des Sensors. Wie bereits oben erwähnt können diese bei wenigen abgeschiedenen Partikeln sehr kleinen Veränderungen der elektrischen Eigenschaften auf

20 Grund der Integration des Sensors in den Resonanzkreis durch die oben angeführten indirekten Messverfahren als Maß für die im Gasstrom vorhandene Partikelkonzentration sehr genau bestimmt werden.

25 Der Grundkörper besteht vorzugsweise aus qualitativ hochwertiger Keramik oder Quarzglas. Hierdurch ist gewährleistet, dass der Sensor temperaturstabil und unanfällig ist, um den extremen Umgebungsbedingungen im Abgasstrom eines Verbrennungsmotors standzuhalten. Außerdem verändern so auch geringste Mengen angelagerter Partikel die elektrischen Eigenschaften des Sensors, da die Partikel wesentlich höhere dielektrische Verluste bedingen als der Grundkörper.

In einer weiteren Ausführungsvariante besteht der Grundkörper aus porösem Material. Hierdurch können im Gegensatz zu einem Grundkörper aus einem Material mit glatter bzw. dichter Oberfläche zu detektierende Partikel wesentlich besser am Sensor anhaften bzw. an und in diesem festgehalten oder gespeichert werden. Durch mehr anhaftende Partikel wird die Empfindlichkeit des Sensors deutlich erhöht.

Auf Grund der Integration des Sensors in einen Resonanzkreis ist, wie oben erwähnt, keine elektrische Gleichstromverbindung zwischen Elektrode und leitfähigen Partikeln bzw. leitfähiger Rußschicht notwendig. Die Elektroden können daher in einer vorteilhaften Ausführungsvariante im Grundkörper eingebettet werden. Die Partikel bzw. die Partikelschicht wird dann kapazitiv an die Elektroden angekoppelt. Durch die Einbettung der Elektroden im Grundkörper sind diese dem Gasstrom nicht direkt ausgesetzt, was deren Lebensdauer deutlich erhöht und sie vor allem im Falle eines Abgasstroms eines Verbrennungsmotors dem aggressiven Abgas nicht ausgesetzt sind.

Eine weitere Möglichkeit, die Elektroden zu schützen besteht darin, diese auf einer für Partikel nicht zugänglichen Seite des Grundkörpers anzuordnen. Dies ist z.B. dadurch zu erreichen, dass der Grundkörper in die Seitenwand des den Gasstrom führenden Rohres eingebettet ist, so dass dessen eine Seite, an der sich Partikel anlagern können in den Gasstrom reicht und die Elektroden an dessen äußerer, nur mit Umgebungsluft in Berührung stehender Seite angeordnet sind, also außerhalb des gasführenden Rohres. Die Elektroden sind auch in diesem Fall gut geschützt und die Herstellung des Sensors ist gegenüber der Einbettung von Elektroden ins Sensormaterial vereinfacht.

Ist der Sensor mit einer Heizvorrichtung ausgerüstet, ergibt sich eine weitere Ausführungsvariante. So kann er auf leichte

Weise auf verschiedene Temperaturen erwärmt werden, um die oben beschriebenen Verfahrensvarianten durchzuführen. Die Heizvorrichtung kann z.B. eine einfache, nicht mit den Elektroden in Berührung stehende elektrische Widerstandsheizwendel sein, die außen oder eingebettet im Sensor angebracht ist.

In einer weiteren Ausführungsvariante ist der Grundkörper zumindest im von Partikeln erreichbaren Bereich mit einer katalytisch aktiven Schicht versehen. Als Katalysator kommen z.B. Oxide verschiedener Metalle wie Vanadium, Silber, Mangan oder Cer in Frage. Eine derartig katalytisch aktive Schicht setzt z.B. die Zündtemperatur von Rußpartikeln um etwa 150°C auf 400°C herab. Zur Reinigung des Sensors von einer Partikelbeladung durch Erwärmung muss der Sensor deshalb nicht mehr so stark erwärmt werden, was dessen thermische Belastung reduziert und damit seine Lebensdauer verlängert.

Für eine weitere Beschreibung der Erfindung wird auf die Ausführungsbeispiele der Zeichnungen verwiesen. Es zeigen:

- Fig.1 ein Abgasrohr eines Diesel-Verbrennungsmotors mit eingebautem Sensor in einer halbaufgebrochenen Prinzipdarstellung,
- Fig.2 die Draufsicht auf den Sensor aus Fig. 1 in Richtung des Pfeils II,
- Fig.3 das Schaltbild eines Resonanzkreises mit angeschlossenem Sensor aus Fig. 1,
- Fig.4 ein Diagramm für die am Sensor aus Fig. 1 abfallende Spannung in Abhängigkeit von dessen ohmschem Widerstand bei Beschaltung gemäß Fig. 3,
- Fig.5 ein Diagramm der Abweichung der Resonanzfrequenz von der maximalen Resonanzfrequenz des Resonanzkreises nach Fig. 3 über der Widerstandsänderung des Sensors,
- Fig.6 eine alternative Ausführungsform eines Sensors mit eingebetteten Elektroden in einer Darstellung gemäß Fig. 1,

Fig.7 das Schaltbild eines Resonanzkreises mit angeschlossenem Sensor aus Fig. 6,

Fig.8 eine alternative Ausführungsform eines Sensors mit an der Gegenseite der Fläche für Partikelanlagerung angebrachten Elektroden in einer Darstellung gemäß Fig. 1,

5 Fig.9 eine alternative Ausführungsform eines Sensors mit Grundkörper aus Schaumkeramik in einer Darstellung gemäß Fig. 1,

10 Fig.10 das Abgasrohr eines Diesel-Verbrennungsmotors gemäß Fig. 1 mit eingebautem Sensor gemäß Fig. 8 in alternativer Einbaulage in einer Darstellung gemäß Fig. 1,

Fig.11 die Draufsicht auf den Sensor aus Fig. 10 in Richtung des Pfeils XI, in einer Darstellung gemäß Fig. 2.

15

Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem Abgasrohr 2 eines nicht dargestellten Diesel-Verbrennungsmotors. Am Abgasrohr 2 ist ein Sensor 4 montiert. Das Ende 6 des Abgasrohrs 2 führt zunächst zu einem nicht dargestellten Partikelfilter und von 20 dort zum nicht dargestellten Verbrennungsmotor. Vom Ende 8 führt das Abgasrohrs 2 weiter zu einem nicht dargestellten Auspuffende.

20 In Fig. 1 ist die Wand 10 des Abgasrohrs 2 teilweise aufgebrochen dargestellt und gibt den Blick auf den Sensor 4 frei. Der Sensor 4 umfasst einen Grundkörper 12 und ein auf diesem angebrachtes Elektrodenpaar 14a,b. Der Sensor 4 ist mit seinem Grundkörper 12 derart in die Wand 10 des Abgasrohrs 2 eingefügt, dass er zu einem Teil ins Innere 16 des 30 Abgasrohrs 2 und zum anderen Teil in den das Abgasrohr 2 umgebenden Außenraum 18 weist. Die Wand 10 ist hierbei fest und dicht gegen Abgase mit zwei Seitenflächen 20 und der Vorder- und Rückseite 20 und 26 des Grundkörpers 12 auf einer Umfangsleitung verbunden. So liegt die, die Elektroden 14a,b tragende Oberseite 22 des Grundkörpers 12 zu einem Teil im Inneren 16 des Abgasrohrs 2 und steht somit mit Abgas in Verbindung, welches in der durch die Pfeile 24 angedeuteten Rich- 35

tung das Abgasrohr 2 durchströmt. Es sind auch andere Anordnungen des Sensors 4 am Abgasrohr 2 denkbar, wie weiter unten ausgeführt wird.

5 In Abgasrichtung 24 vom Abgas mit transportierte Partikel 28 setzen sich zu einem Teil im Bereich 30 der Seite 22 zwischen den Elektroden 14a,b ab. Dies ist durch den Pfeil 48 dargestellt. Der Sensor 4 ist strömungstechnisch günstig so im Gasstrom 24 platziert, dass sich möglichst viele Partikel auf ihm abscheiden. Hierzu dienen z.B. auch nicht dargestellte Leit- oder Umlenklebleche in dessen Umgebung. An den Elektroden 14a,b ist eine jeweils nicht dargestellte elektrische Anschlussleitung angebracht, welche vom Sensor 4 wegführt.

15 Fig. 2a zeigt den Sensor 4 aus Fig. 1 in Blickrichtung des Pfeils IIa, Fig. 2b die Ansicht in Richtung des Pfeils IIb. Der Sensor 4 steht nur mit seiner Seitenfläche 20 dem in Richtung 24 anströmenden Abgas entgegen und bietet diesem so mit möglichst wenig Anströmwiderstand. Die über die Seitenfläche 22 erhabene Elektrode 14a bietet an ihrer Stromabwärts liegenden Seite eine Abrisskante für die Abgasströmung, so dass sich Abgas und somit Partikel im Bereich 30 zwischen den beiden Elektroden 14a,b verwirbeln und anlagern. Bei Anlageung vieler Partikel 28 im Bereich 30 bildet sich dort eine die Elektroden 14a und 14b leitfähig verbindende Schicht aus. Es entsteht ein elektrischer Gleichstrompfad.

30 Fig. 3 zeigt das Schaltbild eines Resonanz- oder Schwingkreises, in dem der Sensors 4 nach Fig.1 und 2 betrieben ist. Das Ersatzschaltbild des Sensors 4 entspricht dem umrandeten Schaltungsteil 32. Die Elektrode 14a, welche dem Knoten 34a entspricht, ist mit der Fahrzeugmasse 36 verbunden. Der der Elektrode 14b entsprechende Knoten 34b ist über eine Induktivität 40 mit einer Spannungsquelle 42 für Wechselspannung verbunden, welche wiederum nach Masse 36 geführt ist.

35

Bei Beaufschlagung mit Wechselspannung enthält das Ersatzschaltbild 32 des Sensors 4 eine Kapazität 44 und einen ohmschen Widerstand 46, die parallel geschaltet sind. Insgesamt stellt Fig. 3 somit einen Reihenschwingkreis dar. Die Werte 5 der Kapazität 44 sowie des Widerstands 46 ändern sich je nach Menge der im Bereich 30 angelagerten Partikel 28. Damit ändern sich auch Kenngrößen des Schwingkreises, wie dessen Eigenfrequenz, Güte oder das Teilverhältnis für die über dem Schaltungsteil 32 abfallende Spannung zur Spannung der Spannungsquelle 42.

Um quantitative Aussagen über die Partikelbeladung des Sensors 4 treffen zu können, wird zunächst bei noch unbeladenem Sensor 4 zumindest eine dieser betreffenden Kenngrößen, also 15 z.B. nach der ersten Verfahrensvariante die über dem Sensor 4 (und damit am Schaltungsteil 32) abfallende Spannung bestimmt und als Referenzwert abgelegt, z.B. gespeichert. Dies geschieht mit Hilfe einer nicht dargestellten elektronischen Messschaltung, z.B. einem kapazitiven Teiler und Komparatoren. Wird zu einem späterem Zeitpunkt nochmals die selbe 20 Kenngröße, also die Spannung bestimmt, so wird diese mit dem gespeicherten Referenzwert verglichen. Die Abweichung des aktuellen Messwerts der Spannung zum Referenzwert ist dann ein quantitatives Maß für die Menge der auf dem Sensor 4 angelagerten Partikel 28.

Dem Diagramm in Fig. 4 liegt die Schaltung nach Fig. 3 zu grunde. Die Amplitude der Quellenspannung der Spannungsquelle 42 ist 10 V. Die Impedanz des verlustfreien Kreises (Widerstand 46 ist unendlich groß) beträgt 100 kΩ und die Resonanzfrequenz dann 2 MHz. Im Diagramm ist auf der Abszisse der Wert des Widerstandes 46 im Bereich 100 kΩ bis 100 MΩ aufgetragen. Die Kurve beschreibt die zum jeweiligen Widerstand gehörende Sensorspannung (Ordinate), die über dem Schaltungsteil 32 abfällt und im Bereich von ca. 20 V bis 2000 V liegt. 30 Hierin ist die Eigenschaft der Spannungsüberhöhung des 35

Schwingkreises, nämlich Faktor 2 bis 200 zur erregenden Spannung von 10 V, zu erkennen.

Durch Messung der Spannung am Teilnetzwerk 32, also am Sensor 5 4, kann mit Hilfe des Diagramms sehr genau auf den Wert des Widerstands 46 zurück geschlossen werden, was wiederum genaue Aussagen über die Menge der Partikel 28 im Bereich 30 und somit über die Menge der im Abgasstrom 24 befindlichen Partikel insgesamt erlaubt.

10

Das Diagramm in Fig. 5 zeigt wiederum für den gleichen Widerstandsbereich wie in Fig. 4 des Widerstands 46 die Abweichung der Resonanzfrequenz von der Resonanzfrequenz von 2 MHz des verlustfreien Kreises. Bei einem Wert von ca. 800 k $\Omega$  des Widerstands 46 beträgt die Abweichung 10 kHz, das heißt, in diesem Fall hat sich die Resonanzfrequenz des gesamten Kreises nach Fig. 3 auf 2,01 MHz erhöht. Aus dem Diagramm nach Fig. 5 kann also durch Messung der Resonanzfrequenz im Schwingkreis sehr genau auf den Widerstandswert zurückgeschlossen werden.

15

20

Fig. 6 zeigt einen Sensor 4 im im Abgasrohr 2 eingebauten Zustand entsprechend Fig. 1, wobei vom Abgasrohr 2 nur die Seitenwand 10 im Schnitt sichtbar ist. Im Gegensatz zur Ausführung nach Fig. 1 sind jedoch die Elektroden 14a,b im Inneren des Grundkörpers 12 eingebettet, so dass sie nicht mit dem Innenraum 16 in Kontakt stehen. Dies hat den Vorteil, dass die Elektroden 14a,b nicht dem in Richtung 24 strömendem Abgas ausgesetzt sind, was den Sensor 4 gegenüber der Ausführungsform nach Fig. 1 wesentlich robuster macht. Partikel 28 können sich dennoch in Richtung 48 aus dem Abgasstrom 24 aus der Seite 22 des Sensors 4 niederschlagen.

30

35

Obschon die Partikel 28, die bei genügender Dichte auch eine durchgehende leitfähige Schicht auf der Seite 22 ausbilden können, nicht in direkten Kontakt mit den Elektroden 14a,b treten können, beeinflussen die Partikel 28 dennoch die Ver-

lust- bzw. Kapazitätseigenschaften des Sensors 4 bei dessen Beaufschlagung mit Wechselspannung. Da die Elektroden 14a,b im nichtleitenden Grundkörper 12 eingebettet sind, erfolgt die Ankopplung an die die Verluste bestimmenden Partikel 28 5 kapazitiv in den Bereichen 50a,b.

Gegenüber Fig. 3 ist deshalb das zum Sensor 4 nach Fig. 6 gehörende Ersatzschaltbild 32 in Fig. 7 um zwei Koppelkapazitäten 52a,b ergänzt, welche die Bereiche 50a,b im Ersatzschaltbild 32 repräsentieren. Die Koppelkapazitäten 52a,b sind 10 beidseitig dem Widerstand 46 in Reihe geschaltet und dieser Zweig zur Sensorkapazität 44 parallel geschaltet. Die wieder einen Reihenschwingkreis bildende Beschaltung des Sensors 4 ist in Fig. 7 identisch zu Fig. 3.

15 Bei geeigneter Dimensionierung der entsprechenden Abmessungen können die entstehenden Koppelkapazitäten 52a,b, so groß gewählt werden, dass sie im Schaltbild nach Fig. 7 vernachlässigbar sind und sich dieses wieder zum Schaltbild nach Fig. 3 vereinfachen lässt. Die Dimensionierung ist einfach zu erreichen, da der Abstand der Sensorelektroden 14a,b zur Seite 22, 20 und damit zur dort entstehenden Partikelschicht stets kleiner gehalten werden kann als der Abstand der Sensorelektroden 14a,b zueinander, und Kapazitäten umgekehrt proportional zu den Abständen der sie bildenden Elektroden sind.

Fig. 8 zeigt eine weitere Ausführungsform für einen Sensor 4, bei dem die Elektroden 14a,b auf der Seite 26, also der dem Außenraum 18 zugewandten Seite des Grundkörpers 12 auf dessen 30 Oberfläche angebracht sind. Bei der Ausführungsform nach Fig. 8 sind die Elektroden 14a,b wie in Fig. 6 nicht dem Innenraum 16 und somit den Abgasen im Abgasrohr 2 ausgesetzt und somit ebenfalls wesentlich weniger Verschleiß unterworfen. Am bzw. in der Nähe des Sensors 4 sind elektrische Widerstands-Heizwendeln 52 angebracht, mit der der Grundkörper 12 insbesondere im Bereich der Seite 22 erhitzt werden kann. 35 Bei geringerer Erhitzung kann somit Sorge getragen werden,

dass sich auf der Seite 22 außer den Partikeln 28 keine sonstigen Kondensate niederschlagen, welche die Impedanz des Sensors 4 verfälschen würden. Bei weiterer Erhitzung des Sensors 4 durch die Heizwendel 50 kann außerdem erreicht werden, dass 5 die Partikel 28 ihrerseits verbrennen und die Seite 22 somit wieder partikelfrei gereinigt wird. Hierdurch ist es möglich, den Sensor 4 wieder in einen von Partikeln 28 unbesetzten Zustand zurückzuführen, um eine erneute Referenzmessung durchzuführen. Zur Erleichterung des Abbrennens von Partikels 28 10 von der Seite 22 des Grundkörpers 12 ist diese mit einer katalytisch aktiven Schicht 54 überzogen, welche die Zündtemperatur der Partikel 28 herabsetzt. Die Seite 22 muss deshalb durch die Heizwendel 52 nicht so stark erhitzt werden, wie 15 ohne katalytische Schicht 54.

Fig. 9 zeigt nochmals den Sensor 4 in einer Ausführungsform 20 ähnlich Fig. 8, wobei dessen Grundkörper 12 nicht aus einem festen, dichten, sondern aus einem porösen Material, wie z.B. Schaumkeramik besteht. Vom Abgasstrom 24 transportierte Partikel 28 können sich deshalb in Richtung des Pfeils 48 nicht nur auf der Oberfläche 22 des Grundkörpers 12, sondern auch in dessen Volumen absetzen. Die Partikel 28 werden so am Grundkörper 12 besser festgehalten und nicht vom Abgasstrom 24 wieder mit fortgerissen. Der Sensor 4 in der Ausführungsform nach Fig. 9 kann deshalb wesentlich mehr Partikel 28 aufnehmen als in den anderen gezeigten Ausführungsformen, wo- 25 durch seine elektrischen Eigenschaften stärker veränderbar sind und so die Messgenauigkeit des Gesamtsystems weiter erhöht ist.

Auch für diese Ausführungsform sind Heizwendeln 52 vorgesehen. Die Heizwendeln 52 werden von einer nicht dargestellten separaten Heizspannungsquelle versorgt. Die Heizwendel darf 30 nicht in leitender Verbindung mit den Elektroden 14a,b stehen, um die Messungen im Resonanzkreis nicht zu beeinflussen und muss auch außerhalb des Feldbereiches der Elektroden

14a,b liegen, um die kapazitiven Eigenschaften des Sensors 4 nicht zu stark zu beeinflussen.

In Fig. 10 ist eine alternative Anordnungsmöglichkeit des Sensors 4 im Abgasrohr 2 gezeigt, die sich für dessen Ausführungsform nach Fig. 8 anbietet. Hier umschließt die Wand 10 die Seitenfläche 20 auf ihrem gesamten Umfang dicht und passgenau. So liegt die Seite 22 des Sensors 4 gänzlich im Rohrinneren 16, und die die Seite 26 zusammen mit den Elektroden 14a,b gänzlich im abgasfreien Außenraum 18.

Fig. 11 zeigt die Ansicht aus Fig. 10 in Richtung des Pfeils XI. Aus dem Innenraum 16 ist also nur die Oberfläche 22 des Sensors erreichbar für Abgase und Partikel 28. Die Elektroden sind im Außenraum 18 so vor den aggressiven Abgasen geschützt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Partikelkonzentration in ei-  
nem Gasstrom (24), insbesondere von Rußpartikeln im Abgas-

5 strom eines Verbrennungsmotors, bei dem

- ein Partikel (28) sammelnder Sensor (4) im Gasstrom (24)  
platziert wird,
- der Sensor (4) als kapazitives Element (32) in einen elek-  
tromagnetischen Resonanzkreis (31) integriert wird,
- 10 - der Resonanzkreis (31) mit einer Wechselspannung (42) er-  
regt wird,
- eine durch Partikelbeladung des Sensors (4) veränderbare  
Kenngröße des Resonanzkreises bei unbeladenem Sensor als  
Referenzwert bestimmt wird,
- 15 - die durch Partikelbeladung bedingte Veränderung der Kenn-  
größe gegenüber dem Referenzwert bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Resonanzkreis (31)  
mit Wechselspannung (42) fester Frequenz und fester Amplitude

20 erregt wird, und die am Sensor (4) abfallende Spannung als  
Kenngröße bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Resonanzfrequenz  
des Resonanzkreises (31) als Kenngröße bestimmt wird.

25 4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Frequenz der den  
Resonanzkreis (31) erregenden Wechselspannung (42) auf dessen  
jeweilige Resonanzfrequenz abgestimmt wird, und die Frequenz  
der erregenden Spannung (42) als Kenngröße bestimmt wird.

30 5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem  
der Sensor (4) während der Bestimmung der Kenngröße auf eine  
unterhalb der Zündtemperatur der Partikel (28) liegende Tem-  
peratur erwärmt wird, um an ihm anhaftende Verunreinigungen  
35 zu entfernen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem  
der Sensor (4) vor einer Bestimmung der Kenngröße auf eine  
über der Zündtemperatur der Partikel (28) liegende Temperatur  
5 erwärmt wird, um eine Partikelbeladung zu entfernen.

7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der  
Ansprüche 1 bis 6, mit einem im Abgasstrom (24) platzierten,  
als kapazitives Element (32) in einen mit Wechselspannung  
10 (42) erregten elektromagnetischen Resonanzkreis (31) integ-  
rierten, Partikel (28) sammelnden Sensor (4), wobei dieser  
einen nichtleitenden Grundkörper (12) und zwei beabstandet  
zueinander angebrachte Elektroden (14a,b) aufweist.

15 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, bei der der Grundkörper (12)  
aus Keramik besteht.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, bei der der Grundkör-  
20 per (12) aus porösem Material besteht.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, bei der die  
Elektroden (14a,b) im Grundkörper (12) eingebettet sind.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, bei dem  
die Elektroden (14a,b) auf einer für Partikel (28) nicht zu-  
gänglichen Seite (26) des Grundkörpers (12) angeordnet sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 11, mit einer  
Heizvorrichtung (52) für den Sensor (4).

30 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, bei der  
der Grundkörper (12) mit einer katalytisch aktiven Schicht  
versehen ist.

## Zusammenfassung

Verfahren und Vorrichtung zur Überwachung der Partikelkonzentration in einem Gasstrom

5

In einem Verfahren zur Überwachung der Partikelkonzentration in einem Gasstrom (24), insbesondere von Rußpartikeln im Abgasstrom eines Verbrennungsmotors, wird ein Partikel (28) sammelnder Sensor (4) im Gasstrom (24) platziert. Der Sensor (4) wird als kapazitives Element (32) in einen elektromagnetischen Resonanzkreis (31) integriert. Der Resonanzkreis (31) wird mit einer Wechselspannung (42) erregt. Eine durch Partikelbeladung des Sensors (4) veränderbare Kenngröße des Resonanzkreises wird bei unbeladenem Sensor als Referenzwert bestimmt. Die durch Partikelbeladung bedingte Veränderung der Kenngröße gegenüber dem Referenzwert wird bestimmt.

10

Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens weist einen Partikel (28) sammelnden Sensor (4) auf, der im Abgasstrom (24) platziert und als kapazitives Element (32) in einen mit 15 Wechselspannung (42) erregten elektromagnetischen Resonanzkreis (31) integriert ist. Der Sensor (4) weist einen nicht-leitenden Grundkörper (12) und zwei beabstandet zueinander angebrachte Elektroden (14a,b) auf.

15

Fig. 1

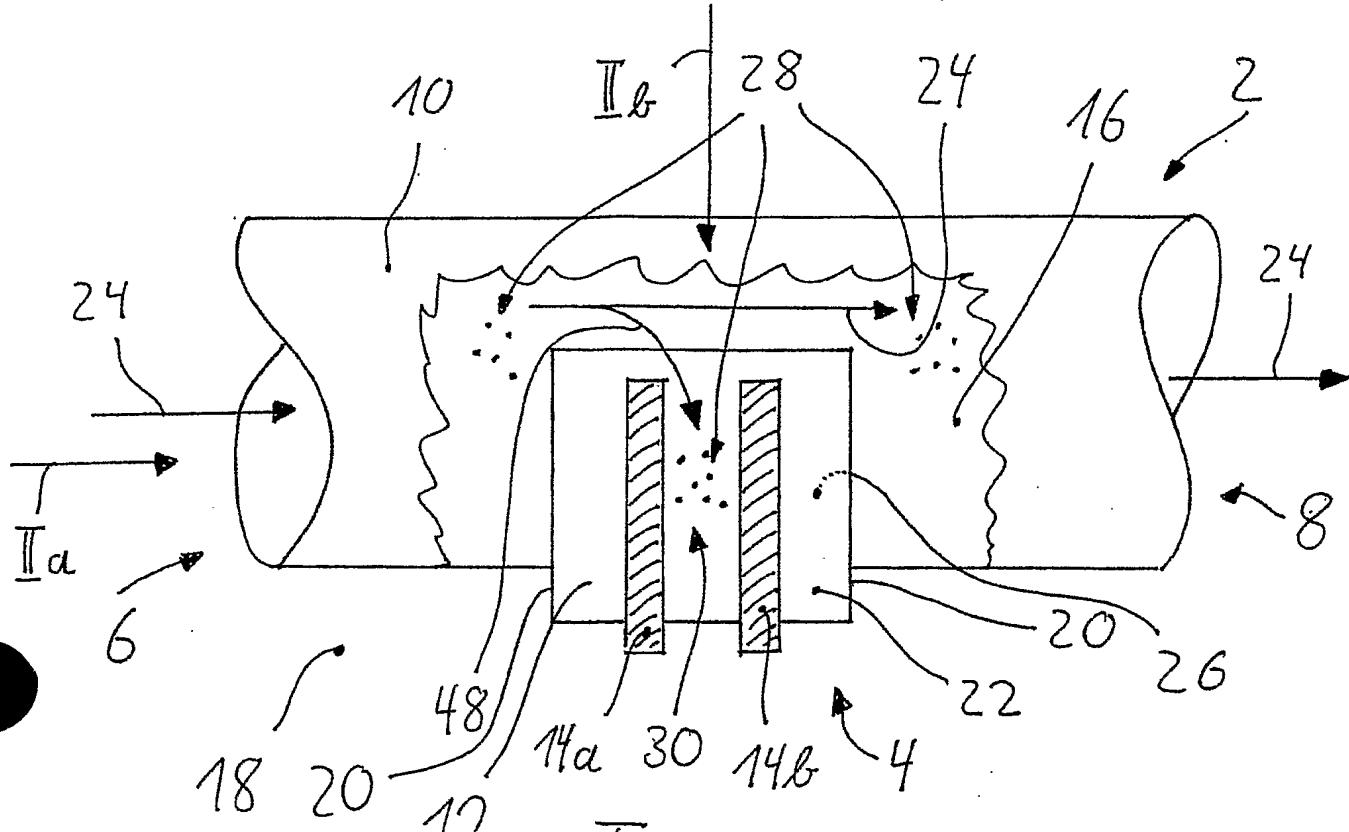
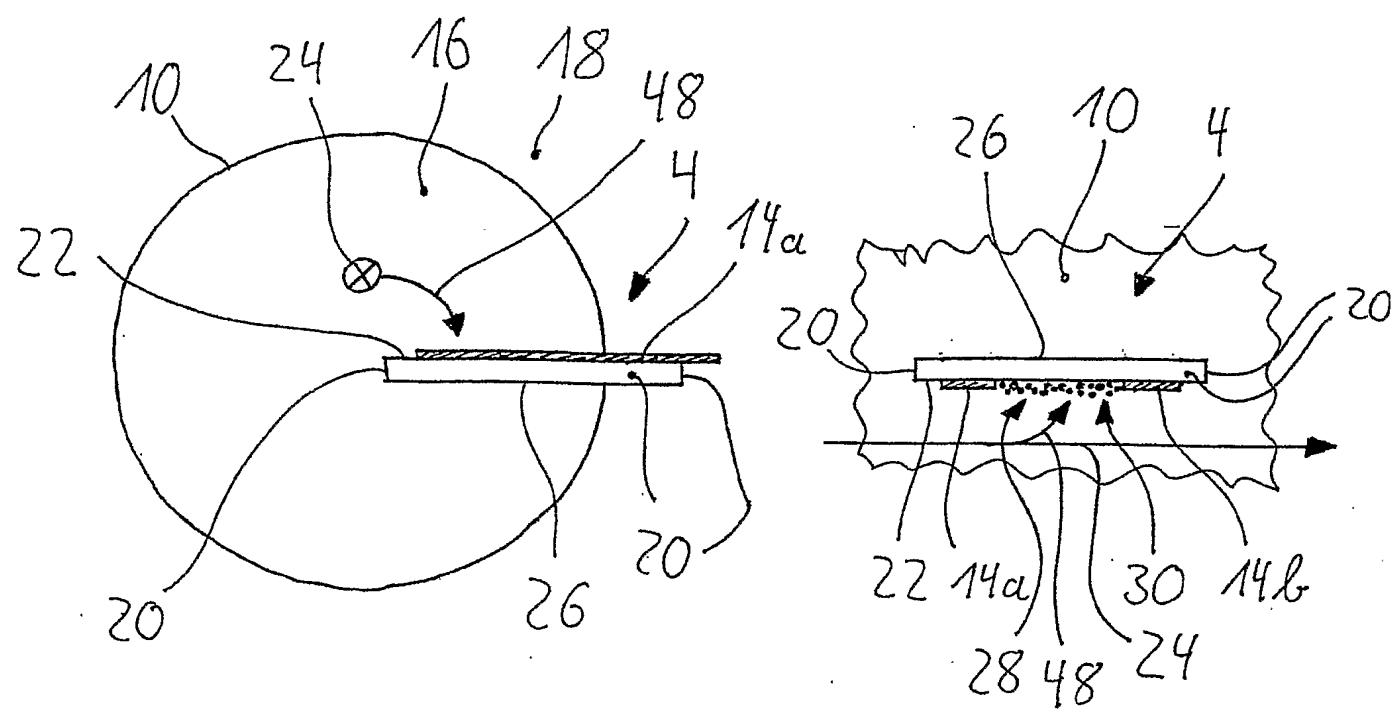


Fig. 1



a)

Fig. 2

b)

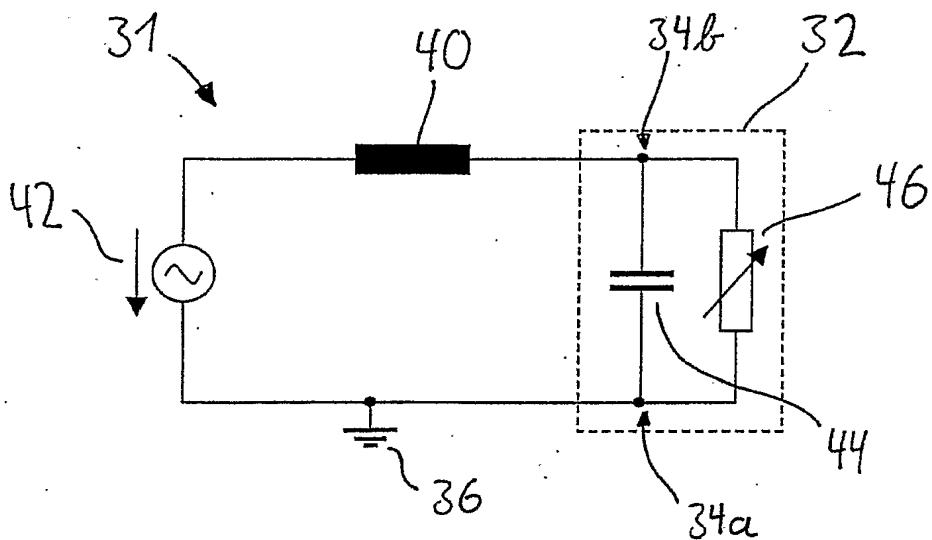


Fig. 3

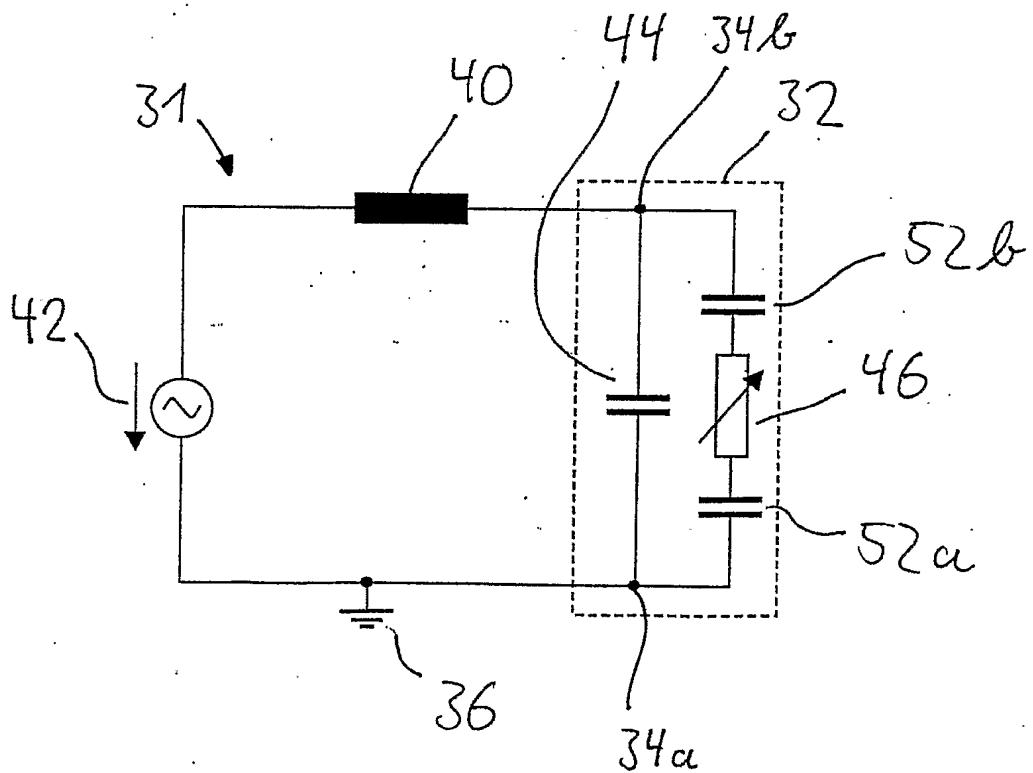


Fig. 7

Fig. 4

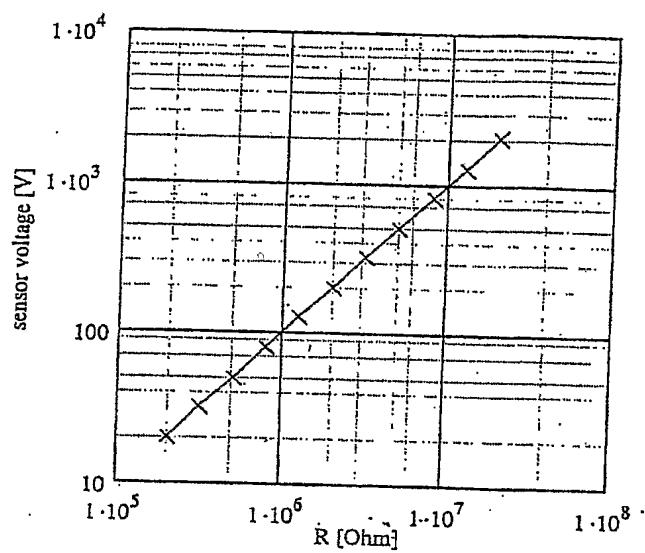
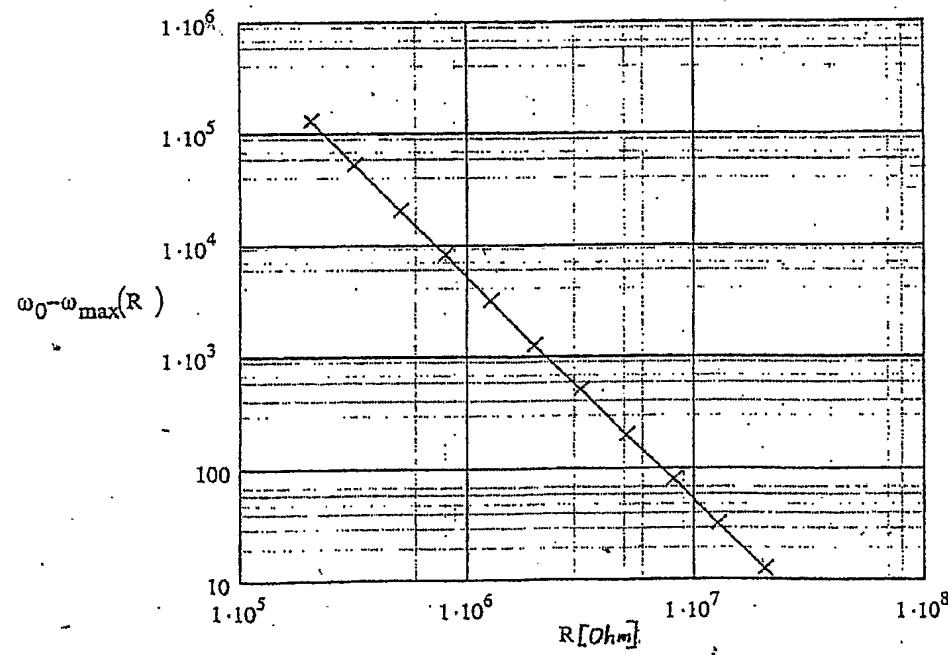
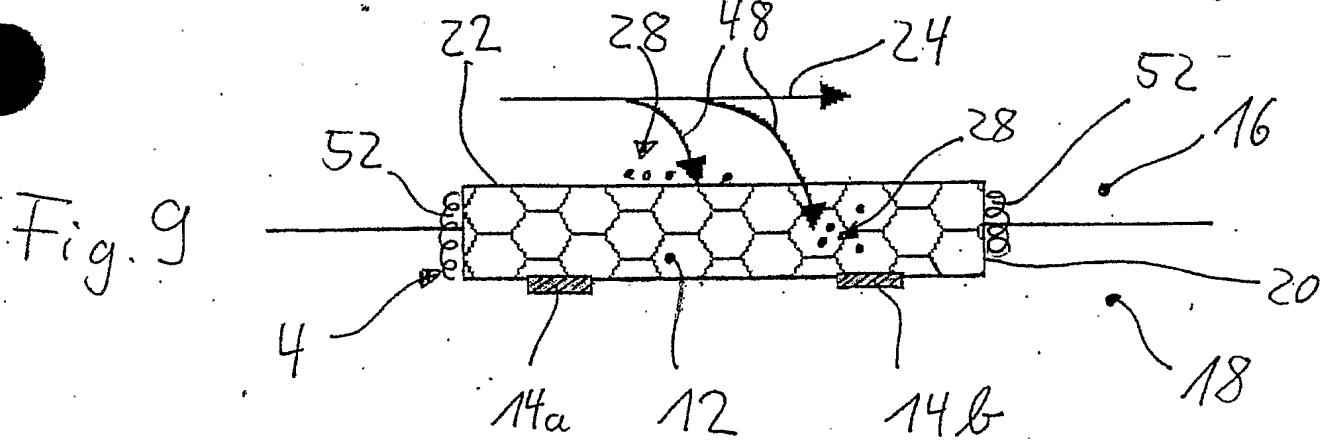
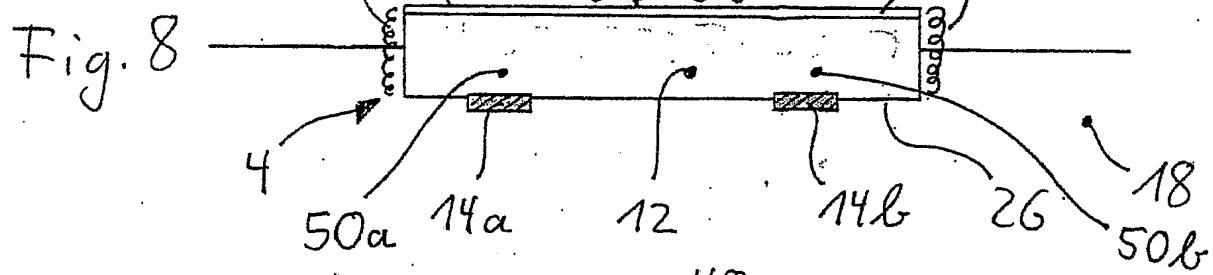
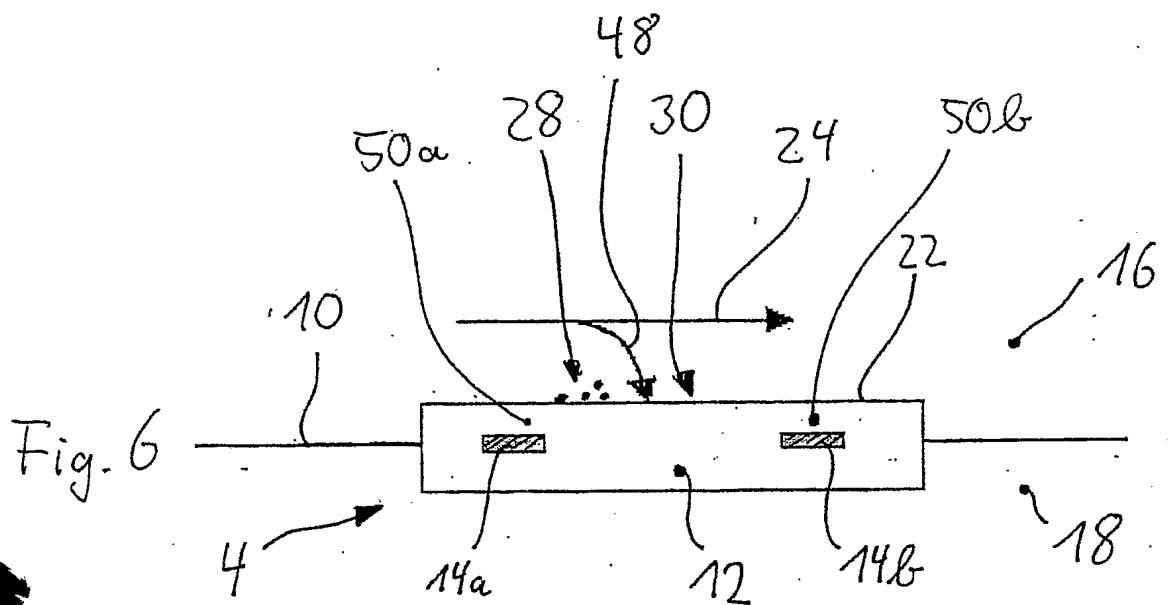


Fig. 5





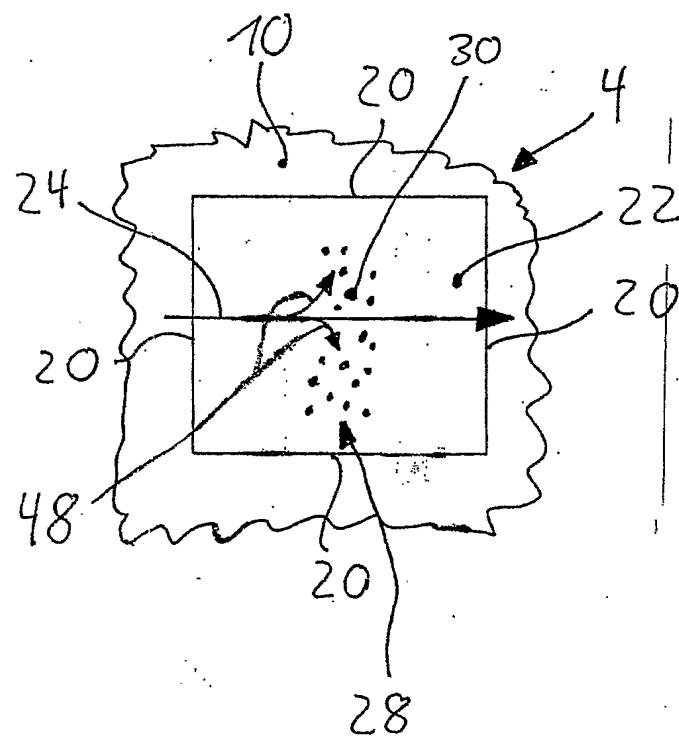
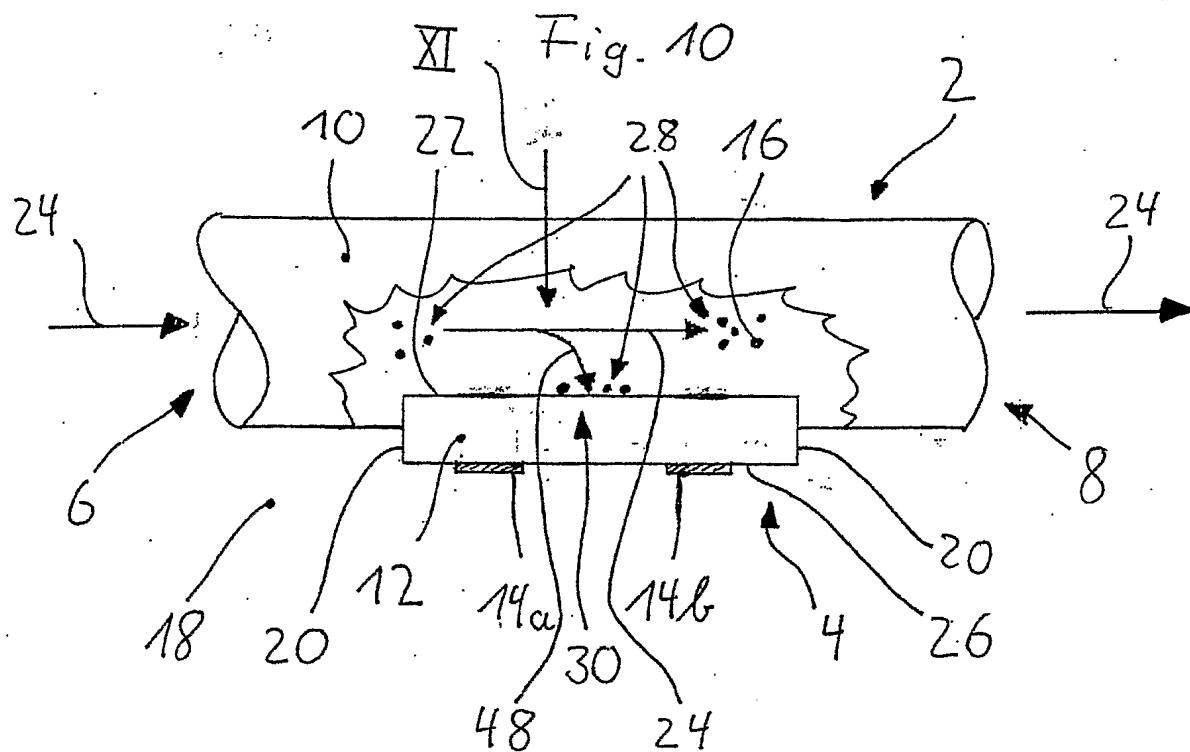


Fig. 11